



BIONIK

Frauenmantel mit Nässeschutz

Der „Lotos-Effekt“ lässt Wasser von den Blättern mancher Pflanzen abperlen und entfernt dabei zugleich Schmutzteilchen von der Blattoberfläche. Auf welchen physikalischen Ursachen dieses Phänomen beruht, war unklar. Stephan Herminghaus, Direktor am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen, und sein Kollege Alexander Otten von der Universität Ulm haben das Rätsel jetzt zu lösen begonnen. Sie beschreiben zwei ausgeklügelte Mechanismen, dank derer die Blätter verschiedener Pflanzenarten trotz Regenschauern oder Morgentau trocken bleiben. (LANGMUIR 2004, Band 20, Seite 2405)

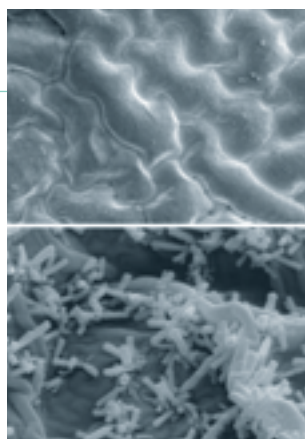
FOTOS: LANGMUIR 2004, 20, 2405 – STEPHAN HERMINGHAUS/ALEXANDER OTTEN

Anders als es der Name „Lotos-Effekt“ vielleicht vermuten ließe, ist dieser nicht auf die asiatische Pflanze *Nelumbo nucifera* (Lotosblume) beschränkt. Die verschiedensten Pflanzen zeigen ihn: Sie sind super-hydrophob – Wasser perlt perfekt von ihren Blättern ab. Dabei nimmt es Staub und Schmutz mit, sodass sich die Pflanze von selbst reinigt. Diesen Lotos-Effekt gibt es auch bei Tieren: Mit seiner Hilfe bleiben viele Käferarten ständig sauber, obwohl sie im Erdreich leben und durch verwesende Tierkörper krabbeln. Das Phänomen kann jedoch auch stören: Wenn Insektizide versprüht werden, sollen sie an den Pflanzen haften und Schädlinge abtöten – statt abzuperlen und zu Boden zu tropfen.

Die Forscher wissen seit langem, dass der Lotos-Effekt bei Pflanzen mit der Mikrostruktur ihrer wächsernen Außenschicht (*Cuticula*) zusammenhängt und bei Insekten mit der Mikrostruktur des Chitin-Panzers. Welche physikalischen Mechanismen laufen dabei im Einzelnen ab? Stephan Herminghaus und Alexander Otten haben jetzt begonnen, an die Stelle von Vermutungen Tatsachen zu setzen. Dazu untersuchten sie nicht etwa exotische, seltene Pflanzen, sondern die einheimischen beziehungsweise leicht zu kultivierenden Arten Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*) und Frauenmantel (*Alchemilla vulgaris*): An beiden perlt Wasser in kugelförmigen Tröpfchen ab, doch ihre Blattstrukturen unterscheiden sich erheblich

Von den Blättern der Kapuzinerkresse perlen Wassertropfen perfekt ab.

Hierarchie der Längenskalen: Auf der Blattoberfläche der Kapuzinerkresse gibt es einige zehn Mikrometer große Zellen der wachstüberzogenen Cuticula (oben), ebenso wie Bündel aus Wachskristallen, von denen jeder etwa einen Mikrometer misst (unten).



voneinander. Herminghaus und Otten konnten mittels Rasterelektronenmikroskopie sowie optischer Messverfahren zeigen, dass auch die Mechanismen ganz verschieden sind, auf denen der Lotos-Effekt bei diesen Pflanzen beruht.

Bei der Kapuzinerkresse enthält die Cuticula Bündel von kleinen Kristallen aus Wachs; sie lassen die eigentlich glatte Pflanze matt erscheinen. Wird jetzt ein Wassertropfen auf ein Blatt gesetzt oder kondensieren dort Tautropfen, so entstehen zwischen den Kristallen taschenartige Lufteinschlüsse. Schräg einfallendes Licht wird an der Grenze zwischen Lufteinschluss und umgebendem Wassertropfen totalreflektiert – das Blatt unter dem Wassertropfen glänzt silbrig. Das Wasser bildet über den Lufteinschlüssen einen Tropfen, der dann von der Blattoberfläche abperlt.

Das Entscheidende: Auf den Blättern gibt es Strukturen unterschiedlicher Größe – „Hierarchie der Längenskalen“ nennen das die Forscher. Die übergeordnete Struktur bilden die einige zehn Mikrometer großen Zellen der wachstüberzogenen Cuticula; darauf befinden sich im Abstand von ungefähr fünf Mikrometern die Bündel aus Wachskristallen, von denen jeder etwa einen Mikrometer misst. Jede dieser Hierarchiestufen hat eine eigene Rauigkeit. Wenn die verschiedenen Rauigkeiten in geeignetem Verhältnis zueinander stehen, perlt das Wasser ab.

Wie wichtig das Vorhandensein der taschenförmigen Lufteinschlüsse für diesen Effekt ist, wiesen Herminghaus und Otten auch an einer künstlichen Struktur nach: Auf einer Silizium-Fläche stellten sie ein Muster aus Kohlenstoff-Nanoröhrchen her. Ovale Büschel von Nanoröhrchen waren in regelmäßigen Abständen angeordnet. Damit besaß auch das künstliche Muster eine Struktur-Hierarchie, bestehend aus den Abständen zwischen den

Büscheln und der Rauigkeit durch die Nanoröhrchen selbst. Setzten die Wissenschaftler einen Wassertropfen auf das zuvor trockene Muster, so perlte er kugelförmig ab. An der Grenzfläche zwischen künstlichem Muster und Wasser wurde Luft zwischen den Büscheln aus den Nanoröhrchen eingeschlossen. Die Bläschen dieses Luftpolsters erstreckten sich jeweils von einem Büschel zum nächsten und riefen einen hell-silbrigen Schimmer hervor.

Bildete sich der Tropfen hingegen aufgrund kondensierter Luftfeuchtigkeit, war das Muster bei der Entstehung des Tropfens schon befeuchtet. Der Tropfen begann sich in diesem Fall zwischen den Büscheln aus den Nanoröhrchen herauszubilden – also dort, wo im anderen Fall die Lufteinschlüsse gewesen waren. Es war kein hell-silbriger Schimmer zu beobachten, und die Tropfen perlt auch nicht kugelförmig ab.

Während bei der Kapuzinerkresse (und bei dem künstlichen Muster) also die Mikrostruktur des Wachses – eine an sich schon wasserabstoßende Oberfläche – die Wassertropfen noch stärker abperlen lässt, kommt beim Frauenmantel ein anderer Mechanismus zum Tragen. Hier sind die Blätter von vielen feinen Härchen bedeckt, die jedes für sich wasseranziehend sind. Eigentlich sollte man deshalb erwarten, dass das Wasser wie bei Löschpapier aufgesogen wird. Wieso also fließt ein Wassertropfen auf einem Blatt des Frauenmantels nicht etwa auseinander, sondern rollt sich kugelförmig zu-

sammen? Noch dazu scheint die Kugel über der Blattoberfläche zu schweben. Sie hängt nur an den Härchen, die sich büschelweise zusammendrängen, sodass sie sich genau an der Grenze zwischen Luft und Wassertropfen überkreuzen.

Wegen ihrer chemischen Struktur ziehen die Härchen das Wasser zu sich hin. Ein Härchen, das in die Wasseroberfläche ragt, verformt diese – und das kostet Energie. Allerdings bedarf es weniger Aufwands, wenn die Härchen sich dabei zusammenschließen, statt als „Einzelkämpfer“ die Oberfläche zu verformen. Deshalb werden die Härchen büschelweise zusammengezogen und dabei gebogen. Die Härchen setzen dem aber Widerstand entgegen und lassen sich nicht ohne weiteres biegen: Die Blattoberfläche, in der die Härchen festsitzen, und die Tropfenoberfläche, an der die Härchen in den Tropfen ragen, stoßen einander ab. Der Tropfen wird an den Härchen hochgehoben und scheint über der Blattoberfläche zu schweben: Dieses „Emporhüpfen“ konnten die Wissenschaftler unter dem Mikroskop beobachten.

Der eine Teil des Lotos-Effektes ist durch die beiden Mechanismen erklärt: Bei der Kapuzinerkresse lässt die Hierarchie verschiedener Längenskalen in der Blattstruktur die Blätter super-hydrophob werden. Beim Frauenmantel sorgt das Wechselspiel von Oberflächenverformung und Verbiegung dafür, dass die Tropfen von Wasser anziehenden Härchen emporgehoben werden und an diesen über der Wasser abstoßenden Blattoberfläche schweben. Weitere Untersuchungen sind jedoch notwendig, um auch den anderen Teil des Lotos-Effektes – die Selbstreinigung – genau zu verstehen. Aber egal ob selbstreinigende Wandfarbe, robuste Autolacke oder wasserdichte Outdoor-Bekleidung entwickelt werden sollen: Die Forschungsarbeit dürfte sich in jedem Fall bezahlt machen.

@ Weitere Informationen erhalten Sie von:
PROF. DR. STEPHAN HERMINGHAUS
Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation, Göttingen
Tel.: 0551 5176-200
Fax: 0551 5176-664
E-Mail: stephan.herminghaus@mpi-sf.mpg.de

MARSFORSCHUNG

Atmosphäre löst sich in Luft auf

Der Sonnenwind dringt tief in die dünne Gashülle des Planeten Mars ein und könnte dadurch wesentlich für den schleichenden Verlust seiner Atmosphäre verantwortlich sein. Das zeigen Messungen der Raumsonde Mars Express, die Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau mit ausgewertet haben. (SCIENCE, 24. September, 2004)

Beim Mars gibt es im Gegensatz zur Erde wegen der geringen Dichte der Gashülle keinen scharfen Übergang von der Region der neutralen Atmosphäre zur Ionosphäre. Meist wird der Bereich zwischen 100 und 500 Kilometer über der Marsoberfläche als Ionosphäre oder auch als „obere Atmosphäre“ bezeichnet. Dass der Sonnenwind so tief – nämlich bis zu 270 Kilometer – in die Atmosphäre eindringt, liegt am fehlenden Eigen-Magnetfeld des Planeten; früher erzeugte er dieses Magnetfeld – wie aktuell die Erde – durch Dynamoeffekte in seinem Inneren. Heute besitzt der Mars nur noch ein schwaches Magnetfeld, das im Wesentlichen von geladenen Teilchen aus dem Weltraum induziert wird.

wind und der tagseitigen Ionosphäre des Mars; zudem bestimmen sie Menge und Masse der Ionen sowie die Energie von Elektronen und Ionen in jener marsnahen Region, in der die Interaktion des Sonnenwinds mit der Marshülle abläuft.

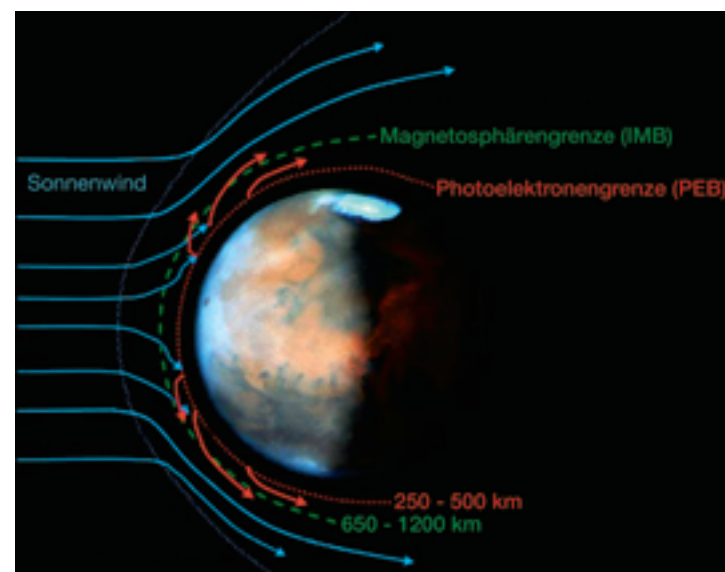
Die Astrophysiker wissen bereits, dass unterhalb einer Grenze, der so genannten induzierten Magnetosphären-grenze (IMB), in einer Höhe von 650 bis 1200 Kilometern über der Marsoberfläche planetare Ionen – vor allem Wasserstoff und Sauerstoff – das Plasma dominieren. Unterhalb der Photoelektronengrenze (PEB), in einer Höhe zwischen 250 und 500 Kilometern, befinden sich hauptsächlich ionosphärische Elektronen, die durch die UV-Strahlung der Sonne entstehen.

Mit den ASPERA-Daten haben die Wissenschaftler jetzt nachweisen können, dass der Sonnenwind sehr tief in die Atmosphäre des Mars gelangt. „Die Sonnenwind-Ionen dringen bis in eine Höhe von 270 Kilometern in die Ionosphäre vor und verursachen dort einen Abfluss planetarer Sauerstoff-Ionen“, sagt Markus Fränz. Damit hat der Sonnenwind einen weit effektiveren Einfluss auf die Marsatmosphäre als bisher angenommen: „Unsere Auswertungen zeigen, dass das induzierte Magnetfeld des Mars für einen Teil des Sonnenwinds durchlässig ist.“

Damit erscheint die Region zwischen den beiden Grenzen, der IMB und der PEB, von besonderer Wichtigkeit, um die Wechselwirkung zwischen Sonnenwind und planetarem Plasma besser zu verstehen. Aus der Datenanalyse erhoffen sich die Wissenschaftler genauere Informationen auch darüber, auf welche Weise der Planet in den vergangenen vier Milliarden Jahren seine vermuteten Ur-Ozeane verloren hat.

@ Weitere Informationen erhalten Sie von:
DR. JOACHIM WOCH
Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau
Tel.: 05556 979-447
Fax: 05556 979-240
E-Mail: woch@linmpi.mpg.de

DR. MARKUS FRÄNZ
Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau
Tel.: 05556 979-441
Fax: 05556 979-240
E-Mail: fraenz@linmpi.mpg.de



Erosion in der Ionosphäre des Mars: Planetare Ionen werden in der Region zwischen der Photoelektronengrenze (PEB) und der Grenze der induzierten Magnetosphäre (IMB) beschleunigt und stromabwärts transportiert.

FOTO: ASPERA-KOOPERATION

Wie hat der Rote Planet seine einst dichte Atmosphäre verloren? Dies zählt zu den spannendsten Fragen der Marsforschung. Als ein wichtiger Mechanismus kommt dabei die Erosion durch Ladungs- und Energieaustausch mit den Teilchen des Sonnenwinds in Frage; dieser solare Partikelstrom besteht hauptsächlich aus Protonen und Elektronen sowie aus Heliumkernen. Um das Rätsel zu lösen, haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung Daten der europäischen Raumsonde Mars Express ausgewertet. Danach dringt der Sonnenwind tief in die Ionosphäre des Mars ein und „fegt“ planetare Sauerstoff-Ionen ins Weltall.

atmosphäre einwirken kann und auf diese Weise möglicherweise auch für ihren Verlust gesorgt hat“, erklären Joachim Woch und Markus Fränz vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung. Auf der Erde hingegen schützt das Magnetfeld die Atmosphäre, indem es elektrisch geladene Teilchen des Sonnenwinds abfängt und sie um den Globus leitet.

Die neuen Daten vom Roten Planeten wurden nun mit dem Teilchendetektor ASPERA (Analyzer of Space Plasma and Energetic Atoms) an Bord von Mars Express gewonnen. Mit diesen Messungen untersuchen die Wissenschaftler die Wechselwirkungen zwischen dem Sonnen-

ASTRONOMIE

Sonne im Leistungshoch

Die Sonne ist seit etwa 60 Jahren aktiver als jemals in 8000 Jahren zuvor. Dies hat eine internationale Forschergruppe um Sami K. Solanki und Manfred Schüssler vom Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau herausgefunden. Die Wissenschaftler prognostizieren darüber hinaus, dass die solare Aktivität in wenigen Jahrzehnten abflauen wird. (NATURE, 28. Oktober 2004)

Dieser große Sonnenfleck tauchte Anfang September 2004 auf. Das Bildfeld umfasst etwa 45000 mal 30000 Kilometer auf der Sonne – die Erde würde

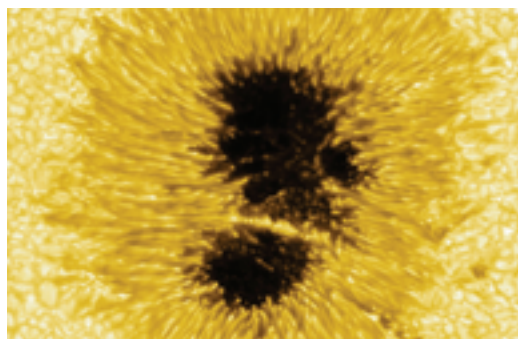


FOTO: MPI FÜR SONNENSYSTEMFORSCHUNG/VASILY ZAHAROV

also mehrfach auf das Foto passen. Sonnenflecken erscheinen dunkel, weil das in ihnen durch die Oberfläche tretende starke Magnetfeld den Energietransport durch Gasströmungen unterdrückt. Im inneren, dunkleren Bereich des Sonnenflecks (Umbra) steht das Magnetfeld senkrecht, während es in der etwas helleren Peripherie (Penumbra) weitgehend horizontal verläuft.

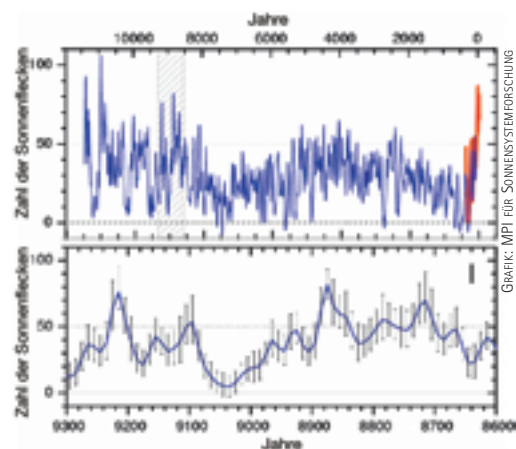
Schon 2003 hatten die Forscher erste Hinweise darauf entdeckt, dass die Sonne heute aktiver ist als in den vergangenen 1000 Jahren. Mittels einer Isotopenanalyse von jahrtausendealten Bäumen konnten sie jetzt den Zeitraum auf 11400 Jahre – dem Ende der letzten Eiszeit – ausdehnen. Dabei stellten die Astrophysiker fest, dass die Sonne seit den 1940er-Jahren aktiver ist als in den acht Jahrtausenden zuvor. Dies bedeutet, dass sie mehr dunkle Sonnenflecken, aber auch mehr Eruptionen und Gasausbrüche zeigt als in der Vergangenheit. Ursache und Energiequelle für alle diese Phänomene ist das solare Magnetfeld.

Seit dem frühen 17. Jahrhundert beobachten Astronomen durch ihre Teleskope regelmäßig die Sonnenflecken – Regionen auf der Oberfläche, in denen starke Magnetfelder die Energieversorgung aus dem Inneren behindern. Dadurch

kühlen die Gebiete um etwa 1500 Grad ab und erscheinen im Vergleich zu ihrer rund 5800 Grad heißen Umgebung dunkel. Die Zahl der Sonnenflecken schwankt in einem etwa elf-jährigen Zyklus. Für die „präteleskopische“ Zeit vor 1610 lässt sich die Sonnenaktivität nicht aus direkten Beobachtungen ableiten. Dennoch gelangen die Wissenschaftler an die gewünschten Informationen: Sie sind als so genannte kosmogene Isotope gespeichert – radioaktive Atomkerne, die in der oberen Atmosphäre der Erde produziert werden, wenn ein energiereiches Teilchen der kosmischen Strahlung auf ein Luftmolekül trifft.

Dazu gehört das Isotop C-14, radioaktiver Kohlenstoff, der auch zur Altersbestimmung von Holz dient. Die Menge des produzierten C-14 hängt davon ab, wie viele Teilchen der kosmischen Strahlung die Erdatmosphäre erreichen. Deren Zahl wiederum schwankt mit der Stärke der Sonnenaktivität: Ist sie hoch, so bildet das solare Magnetfeld einen Schutzschild gegen diese aus den Tiefen des Weltalls kommenden Partikel; bei niedriger Aktivität dagegen steigt die Intensität der kosmischen Strahlung, weil sie vom schwächeren Magnetfeld der Sonne nur mehr ungenügend abgeschirmt wird. Ergebnis: Bei höherer Sonnenaktivität entsteht weniger, bei geringerer Sonnenaktivität mehr C-14.

Das auf diese Weise gebildete C-14 findet sich unter anderem in Baumstämmen. Einige dieser Stämme lassen sich noch Jahrtausende nach ihrem Absterben intakt aus dem Untergrund bergen. Die Forscher messen das in ihnen gespeicherte C-14 und bestimmen aus den Baumringen das Jahr, in dem der radioaktive Kohlenstoff aufgenommen wurde. Auf diese Weise hat das Team um Solanki und Schüssler



Fingerabdruck der Sonnenaktivität: Aus C14-Daten rekonstruierte Fleckenzahlen für die vergangenen 11400 Jahre erscheinen im oberen Teil des Diagramms als blaue, die direkt beobachteten Fleckenzahlen seit 1610 als rote Kurve. Die verlässlichen C14-Daten enden 1900 – der starke Anstieg der Sonnenaktivität im 20. Jahrhundert tritt dort nicht in Erscheinung. Die Rekonstruktion zeigt deutlich, dass ein vergleichbarer Zeitraum hoher Sonnenaktivität mehr als 8000 Jahre zurückliegt. Unten: Vergrößerter Ausschnitt des im oberen Bild schraffierten Zeitraums mit mehreren Episoden hoher Sonnenaktivität, die sich mit jener im 20. Jahrhundert vergleichen lässt.

die Produktionsrate von C-14 über 11400 Jahre zurückverfolgt und daraus schließlich die Zahl der Sonnenflecken ermittelt. Der Wert liefert auch ein gutes Maß für verschiedene andere Phänomene der solaren Aktivität. Da die Leuchtkraft der Sonne im Promille-Bereich schwankt, ergibt sich aus der neuen Rekonstruktion, dass der Stern heute ein wenig heller strahlt als in den 8000 Jahren davor. Aus dem Studium der früheren Perioden mit hoher Sonnenaktivität sagen die Forscher aber auch voraus, dass die gegenwärtig hohe Aktivität der Sonne wahrscheinlich nur noch wenige Jahrzehnte andauern wird.

Ob dieser Effekt wesentlich zur globalen Erwärmung des Erdklimas im vergangenen Jahrhundert beigetragen hat, ist ungeklärt. Die Max-Planck-Forscher weisen darauf hin, dass die Sonnenaktivität seit etwa 1980 auf ungefähr konstantem Niveau verharrt – abgesehen von Schwankungen mit dem elfjährigen solaren Aktivitätszyklus –, dass aber die Temperatur auf der Erde in diesem Zeitraum stark gestiegen ist.



© Weitere Informationen erhalten Sie von: PROF. DR. SAMI K. SOLANKI Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau Tel.: 05556 979-325 Fax: 05556 979-190 E-Mail: solanki@linmpi.mpg.de

PROF. MANFRED SCHÜSSLER Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung, Katlenburg-Lindau Tel.: 05556 979-469 Fax: 05556 979-150 E-Mail: schuessler@linmpi.mpg.de

EPIDEMIOLOGIE

Wie Keime um die Welt jetten

Auf welche Weise breiten sich hoch virulente Infektionskrankheiten aus – und was kann man dagegen tun? Dieser Frage gehen Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen und der Universität Göttingen nach. Sie haben jetzt ein mathematisches Modell vorgestellt, das die weltweite Ausbreitung von Epidemien beschreibt; außerdem erlaubt es Prognosen über die Ausbreitungswege neu ausgebrochener Infektionskrankheiten sowie die davon bedrohten Regionen. (PNAS, vol. 101, 15124–15129, 19. Oktober 2004)

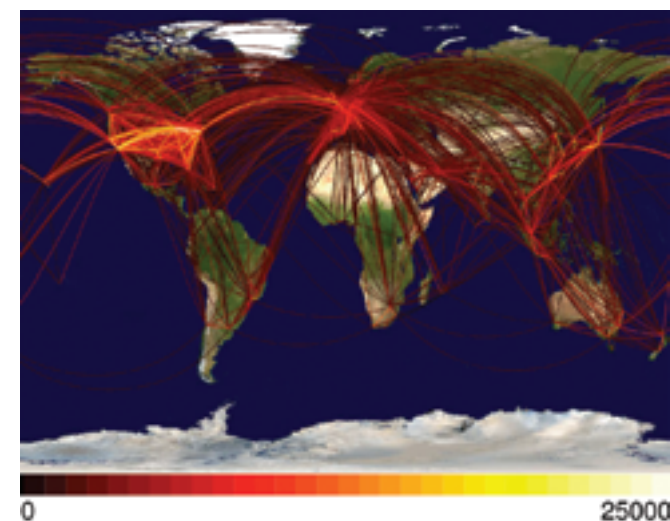
Dank der hohen Mobilität in modernen Gesellschaften – insbesondere durch den internationalen Flugverkehr – können sich tödliche Krankheitserreger rasend schnell über alle besiedelten Gebiete der Erde ausbreiten. Wie und auf welchen Wegen das geschieht, haben Lars Hufnagel, Dirk Brockmann und Theo Geisel vom Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation jetzt berechnet. In ihrem Modell bewegen sich infizierte Individuen zwischen den verschiedenen Knotenpunkten des globalen Flugnetzes und infizieren auf diese Weise andere Individuen.

Für die Simulation haben die Wissenschaftler den Computer mit Daten von mehr als zwei Millionen Flügen pro Woche zwischen den 500 größten Flughäfen der Welt gefüttert, das entspricht etwa 95 Prozent des gesamten zivilen Luftverkehrs. Die Ausbreitungs- und Ansteckungsdynamik wird durch so genannte stochastische Differenzialgleichungen beschrieben: Sie berücksichtigen krankheitsspezifische Größen, wie etwa die Zahl von Sekundärinfektionen,

die ein infiziertes Individuum durchschnittlich auslöst, sowie Heilungs- und Mortalitätsraten. Auf diese Weise konnten die Göttinger Forscher nachweisen, dass große Knotenpunkte im Luftverkehrsnetz, wie London, New York und Frankfurt, für eine rapide weltweite Ausbreitung einer Epidemie verantwortlich sind – und das nahezu unabhängig davon, wo der Krankheitserreger zum ersten

mal auftritt. Dabei ist die Kapazität des Flughafens an einem Knotenpunkt viel weniger entscheidend als der Grad seiner Vernetzung. „Wir konnten zeigen, dass der Versuch, eine Epidemie durch Isolation der zentralen Knoten einzudämmen, viel versprechend ist, während eine Blockade der stärksten Verbindungslinien praktisch kaum einen Effekt hat“, sagt Theo Geisel.

Zur Überprüfung ihres Modells simulierten die Wissenschaftler die Ausbreitung der Lungenerkrankung SARS (Severe Acute Respiratory Syndrome) und verglichen sie mit der Realität aus dem Frühjahr 2003. Dabei erzielten die Forscher eine hohe Übereinstimmung mit dem tatsächlichen Verlauf der Epidemie. Die Computersimulationen am Beispiel



Simulationen zeigen, dass nur eine schnelle und konzentrierte Reaktion die Chance bietet, die globale Ausbreitung moderner Epidemien einzudämmen“, erläutert Geisel. Das Beispiel SARS hat gezeigt, wie stark unsere vernetzte Welt durch neuartige infektiöse Krankheiten bedroht ist. Im Fall der Vogelgrippe könnte eine genetische Vermischung mit menschlichen Grippeviren sogar zum Entstehen eines gänzlich neuartigen „Supervirus“ führen, befürchten die Experten. Nach ihrer Einschätzung wäre eine weltweite Epidemie mit erheblichen Konsequenzen die Folge. Allein in den USA müsste man, vorsichtigen Schätzungen zufolge, mit rund 200000 Toten und Kosten zwischen 60 und 160 Milliarden US-Dollar rechnen.

von SARS lieferten aber nicht nur eine genaue Vorhersage der Ausbreitung, sondern ermöglichten auch Prognosen darüber, welchen Erfolg potenzielle Impf- und Kontrollstrategien haben würden. Künftig soll das neue Modell helfen, sowohl die Ausbreitung neu ausgebrochener Infektionskrankheiten als auch die davon besonders bedrohten Regionen vorherzusagen. „Unsere



© Weitere Informationen erhalten Sie von: PROF. DR. THEO GEISEL Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation, Göttingen Tel.: 0551 5176-400 Fax: 0551 5176-402 E-Mail: geisel@chaos.gwdg.de

Starke Vernetzung: Die Linien symbolisieren den Verkehr zwischen den 500 größten Flughäfen weltweit. Die Farbe der Linien kodiert die „Stärke“ der Verbindungen, das heißt die Anzahl der Reisenden zwischen zwei Flughäfen pro Tag; zwischen New York und Chicago sind das täglich rund 25000 Menschen.

LINGUISTIK

Kinder schaffen Sprache

Kinder erkennen nicht nur effizient Muster in ihrer Sprache, sondern sie entwickeln diese Muster weiter, indem sie elementare Lernmechanismen anwenden. Dies haben Wissenschaftlerinnen vom Max-Planck-Institut für Psycholinguistik in Nijmegen (Niederlande), dem Barnard College in New York (USA) und der Universität Bristol (Großbritannien) in einer Studie zur Entstehung einer neuen Gebärdensprache beobachtet. Damit konnten sie zeigen, dass der Spracherwerb die kognitiven Fähigkeiten von Kindern entscheidend formt. (SCIENCE, 17. September 2004)



Kinder erweisen sich als kreative Sprachdesigner und zeigen diese Fähigkeit auch an der Art, wie sie Gesten einsetzen.

Eine seltene Gelegenheit haben Asli Özyürek und ihre Kolleginnen Ann Senghas und Kita Sotaro genutzt, um die Entstehung einer Sprache zu beobachten: Sie untersuchten eine Gemeinschaft gehörloser Nicaraguaner, die in den vergangenen 25 Jahren eine neue Gebärdensprache entwickelt haben. Mittlerweile gibt es drei Generationen gehörloser Sprecher der Nicaraguan Sign Language (NSL) im Alter von vier bis 45 Jahren. Die junge Historie dieser Sprache erlaubte es den Wissenschaftlerinnen, verschiedene Stadien miteinander zu vergleichen.

Über drei Generationen hinweg veränderten sich die Gesten zu einem linguistischen

System. Aus einem ungeordneten entwickelte sich ein geordnetes Sprachsystem, das zwei Eigenschaften aufweist, die allen Sprachen gemein sind: Erstens besteht jede Sprache aus einer Anzahl von Elementen, die miteinander verknüpft werden. Laute werden zu Worten, Worte zu Phrasen und Phrasen zu Sätzen. Zweitens gibt es zwischen den Elementen Regelungen, in welcher Reihenfolge sie angeordnet werden. Diese Eigenschaften erlauben mit einem endlichen Repertoire an Elementen eine unendliche Anzahl von Äußerungen.

Doch können diese Eigenschaften als ein Produkt von kindlichen Lernmechanismen

entstehen, auch wenn sie zunächst nicht in den Äußerungen vorkommen, die Kinder von älteren Personen sehen? Um diese Frage zu klären, baten die Forscherinnen jeweils zehn Angehörige der drei Sprachgenerationen, einen Zeichentrickfilm nachzuerzählen. Die Probanden sollten Bewegungsabläufe wie „den Hügel hinabrollen“ oder „die Wand hinaufklettern“ beschreiben. Darstellungen solcher Bewegungsabläufe enthalten Information sowohl über die Art der Bewegung als auch über deren Richtung. Eine Geste würde zum Beispiel eine kreisende Bewegung nach unten machen. Tatsächlich haben frühere Studien gezeigt, dass hörende Per-

sonen die Beschreibungen von Bewegungsabläufen mit solchen Gesten begleiten. Viele Sprachen jedoch funktionieren anders: Sie zerlegen den Ablauf in separate Elemente und ordnen diese sequenziell an.

Die Wissenschaftlerinnen verglichen nun die Beschreibungen, die sie mit den gehörlosen Probanden der drei Sprachgenerationen aufgenommen hatten, und fanden unterschiedliche Strategien. Während die Gebärdensprecher des ersten Jahrgangs ganzheitliche Darstellungen wählten, bevorzugten die Jüngeren eine sequenzielle Beschreibung. Sie gaben die Art und die Richtung der Bewegungen häufiger mit separaten Gebärden an. Die jüngeren NSL-Sprecher übernahmen nicht nur das sprachliche System, sondern entwickelten es weiter.

Dieser Prozess verdeutlicht zwei wesentliche Lernstrategien bei Kindern: einerseits eine analytische Herangehensweise, die ihnen hilft, ganzheitliche Sachverhalte in Einzelteile aufzubrechen, und andererseits die Neigung, Elemente linear anzuordnen. Auf den ersten Blick ist eine einzige Geste, die sowohl Art als auch Richtung einer Bewegung erfasst, ökonomischer als zwei einzelne. Doch erst durch die separate Form der Darstellung gewinnt eine Sprache ihre kombinatorische Stärke, die sie zu einem effizienten Kommunikationsmittel macht. Denn beide Teile lassen sich wieder mit neuen Gebärden verwenden.

In ihrer Studie konnten die Wissenschaftlerinnen wesentliche Mechanismen identifizieren, mit denen Kinder Sprachen lernen und weiterentwickeln. Sie gehen außerdem davon aus, dass diese natürlichen Lernfähigkeiten von Kindern die Struktur einer Sprache elementar prägen.



© Weitere Informationen erhalten Sie von: DR. KERSTIN MAUTH (Pressebeauftragte) Max-Planck-Institut für Psycholinguistik, Nijmegen (NL) Tel.: +31 24 352-1454 Fax: +31 24 352-1213 E-Mail: Kerstin.Mauth@mpi.nl

ORNITHOLOGIE

Stadtleben beflügelt Brutgeschäft

Das jahreszeitlich frühe Brüten von Stadtvögeln ist nicht nur umweltbedingt, sondern auch genetisch verursacht. Das haben Jesko Partecke und der im September verstorbene Eberhard Gwinner vom Max-Planck-Institut für Ornithologie in Andechs/Seewiesen zusammen mit Thomas Van't Hof von der Wright State University (USA) am Beispiel von Amseln nachgewiesen. (PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY B, 7. Oktober 2004)

Stadtvögel starten im Frühling früher mit Partnersuche und Brutaktivitäten als ihre Artgenossen im Wald. Für dieses Verhalten bieten sich zwei Erklärungen an: Zum einen könnten die Differenzen auf den verschiedenen Umweltbedingungen beruhen, denen Stadt- und Waldvögel ausgesetzt sind, zum anderen auf einer unterschiedlichen genetischen Ausstattung. Diesen beiden Ansätzen gingen Jesko Partecke und Eberhard Gwinner vom Max-Planck-Institut für Ornithologie nach. An Stadtdamseln untersuchten sie, ob deren – im Gegensatz zu den im Wald lebenden Artgenossen – frühere Partnersuche und Brutaktivitäten das Resultat von direkter physiologischer Anpassung an die unterschiedlichen Umweltbedingungen sind, oder ob sie durch die genetische Ausstattung hervorgerufen werden.

Noch vor 200 Jahren war die Amsel ein scheuer Waldbewohner. Erst Anfang des 19. Jahrhunderts begann sie, Dörfer und Städte zu besiedeln. Im Zuge der Verstädterung haben sich die Lebensweisen von in der Stadt und im Wald lebenden Amseln in vielfältiger Weise verändert. Dass Stadtdamseln im Vergleich zu Waldamseln früher im Jahr mit dem Brüten beginnen, ist seit längerem be-

kannt. Der Grund dafür war bisher jedoch unklar.

Um diese Frage näher zu untersuchen, zogen die Forscher Amsel-Nestlinge aus München und aus einem 40 Kilometer entfernten Waldgebiet auf und hielten beide Gruppen in einem Vogelraum über zwei Jahre zusammen. Während der Studie verfolgten die Wissenschaftler

netische Unterschiede vorhanden sind und wahrscheinlich zu den zeitlichen Abweichungen im Brutbeginn beitragen“, sagt Jesko Partecke.

Welche Umweltbedingungen nun konkret die frühe Brutsaison der Stadtdamseln verursachen, wissen die Ornithologen noch nicht. Immerhin ließen sich schon zwei Faktoren aus-



Die Amsel, ursprünglich ein Waldbewohner, fliegt heute zunehmend auf Städte. Diese Tiere unterscheiden sich in Partnersuche und Brutaktivitäten von ihren ländlichen Artgenossen.

die saisonale Entwicklung der Gonaden (Keimdrüsen) und nahmen Blutproben für die Bestimmung des so genannten luteinisierenden Hormons, das die saisonale Entwicklung der Gonaden und die Bildung der Geschlechtshormone stimuliert. Das Resultat überraschte: Einerseits fanden die Forscher, dass vornehmlich die urbanen Umwelteinflüsse das frühere Brüten der Stadtdamseln im Freiland auslösen; denn die im Freiland drastischen Unterschiede im Gonadenwachstum waren unter Laborbedingungen deutlich reduziert und im zweiten Jahr ganz verschwunden.

Auf der anderen Seite gab es zwischen den beiden Laborpopulationen klare Unterschiede; so begannen die männlichen Stadtdamseln im ersten Jahr früher als ihre ländlichen Artgenossen mit dem Gonadenwachstum und der Hormonausschüttung. Zudem beendeten Amsel-Weibchen aus der Stadt ihre reproduktive Phase früher als die Weibchen aus dem Wald. „Diese Befunde lassen uns vermuten, dass zusätzlich zu den Umweltbedingungen auch ge-

schließen – zusätzliche Nahrung und die milderen Temperaturen in Städten. „Aber es gibt weitere Einflüsse, die wahrscheinlich eine Rolle spielen“, vermutet Partecke. „Zum einen könnte die hohe Populationsdichte von Stadtdamseln als sozialer Stimulus das Paarungsverhalten früher im Jahr anregen. Ein anderer Grund liegt vielleicht in der Überwinterungsstrategie.“

Die Forscher gehen davon aus, dass ein großer Teil der Stadtdamseln auch in den Städten überwintert, während Waldamseln den Winter meist im Süden verbringen. „Die Stadtvögel wären somit in der Lage, früher im Jahr mit der Reproduktion zu beginnen“, sagt Partecke. Als weitere Ursache kommt das Kunstlicht in den Städten in Frage. Die Zunahme der Tageslänge im Frühjahr kurbelt das reproduktive System bei Vertebraten an. Stadtvögel sind noch zusätzlich dem Kunstlicht ausgesetzt. Welche Auswirkungen die Verstädterung auf die dort lebenden Tierarten hat, sollen weitere Experimente klären helfen.



© Weitere Informationen erhalten Sie von: JESKO PARTECKE Washington State University, Pullman (USA) Tel.: +01 509 335-7961 Fax: +01 509 335-3184 E-Mail: partecke@wsu.edu

MEDIZINISCHE FORSCHUNG

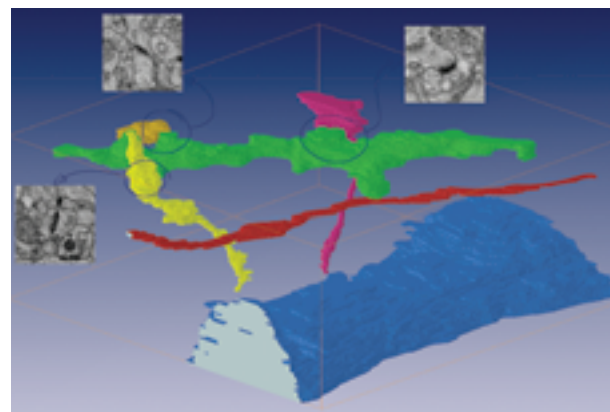
Gedanken – in Bildern gestapelt

Eine neue Methode zur Entschlüsselung neuronaler Schaltkreise haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für medizinische Forschung in Heidelberg entwickelt. Damit wollen sie die „Verdrahtung“ des Gehirns sichtbar machen und den Informationsfluss beim Denken verfolgen. (PLOS BIOLOGY, 19. Oktober 2004).

Herzstück der neuen Entschlüsselungsmethode neuronaler Schaltkreise ist ein von Winfried Denk und Heinz Horstmann entwickeltes Gerät, das es erlaubt, automatisch dreidimensionale Bilder von biologischen Geweben zu erstellen. Dank der hohen Auflösung lassen sich auch noch die dünnsten Ausläufer von Nervenzellen verfolgen – gleichsam die „Drähte“ des Gehirns. Mit ihrer Hilfe gelingt es auch noch weit voneinander entfernten Nervenzellen, Signale auszutauschen. Mit einem Durchmesser von oft weniger als einem zehntausendstel Millimeter (100 Nanometer) liegen die Nervenfortsätze deutlich unter der optischen Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops. Zudem sind sie fast überall im Gehirn dicht gepackt.

Um die nötige Auflösung zu erzielen, verwendeten die Max-Planck-Forscher ein Elektronenmikroskop und kombinierten es – und das ist das Neue an der Methode – mit einem in der Probenkammer montierten Mikrotom; ein solcher Apparat erlaubt es, sehr dünne Gewebeschnitte herzustellen. Das Mikrotom schneidet etwa 50 Nanometer dicke Scheibchen von einem Plastikblock ab, der das zu untersuchende Gehirngewebe enthält. Nach jedem Schnitt macht das Elektronenmikroskop ein Bild der Fläche. Auf diese Weise entsteht ein digitaler Bilderstapel und damit ein räumliches Abbild der Gewebeprobe. Darin lassen sich selbst dünnste Nervenfortsätze erkennen und in drei Dimensionen verfolgen.

„Serielle Rasterelektronenmikroskopie der Blockoberfläche“ (Serial Block-face Scanning Electron Microscopy, SBFSEM) heißt das Verfahren. Es unterscheidet sich von der bisher zur Beobachtung von biologischen Proben verwendeten Durchlicht-Elektronenmikroskopie; diese nutzt Elektronen, die durch den dünnen Gewebeschnitt hindurchschießen. Dagegen bedienen sich die Heidelberger Wissenschaftler jener Elektronen, die von der Oberfläche des Gewebeblocks zurückgeworfen werden, und arbeiten außerdem mit dem in die Vakuumkammer des Elektronenmikroskops montierten Mikrotom. In ihm bewegt sich die Probe während des Schneidvorgangs nicht. Das ist wichtig, besteht doch einer der Vorteile der SBFSEM-Methode darin, dass die Aufnahmen im Bilderstapel sehr gut überlappen – wodurch sich die neuronalen Fortsätze besser verfolgen lassen. Ungenauigkeiten bei der Überlappung sowie Verzerrungen des Schnitts sind die Hauptprobleme der konventionellen Serienschneid-Elektronenmikroskopie. Aufnahmen von großen Gewebereichen waren deshalb bisher praktisch unmöglich. Mit ihrer SBFSEM-Methode nehmen die Max-Planck-Forscher problemlos Stapel mit 2000 Bildern auf. Denk und Horstmann erwarten, dass neue Färbetechniken und automatische Bilderkennungsverfahren es in Zukunft ermöglichen, Nervenfortsätze in SBFSEM-Bilderstapeln in großem Stil zu verfolgen und damit detaillierte Pläne neuronaler Schaltungen zu erzeugen. ●



Rekonstruktion einiger „Nerven-drähte“ unter Verwendung eines dreidimensionalen Bilderstapels, der mit der SBFSEM-Technik gewonnen wurde. Ein Hauptdendrit – ein baumartig verzweigtes System von Nervenfortsätzen, das Eingangssignale von den Synapsen einsammelt – erscheint blau; ein dendritischer Seitenast ist grün gefärbt. Bei den anderen Fortsätzen handelt es sich um Axone, also Nervenzellfortsätze, die eine elektrische Erregung weiterleiten und dann via Synapsen auf die Dendriten anderer Zellen übertragen.

roskopie; diese nutzt Elektronen, die durch den dünnen Gewebeschnitt hindurchschießen. Dagegen bedienen sich die Heidelberger Wissenschaftler jener Elektronen, die von der Oberfläche des Gewebeblocks zurückgeworfen werden, und arbeiten außerdem mit dem in die Vakuumkammer des Elektronenmikroskops montierten Mikrotom. In ihm bewegt sich die Probe während des Schneidvorgangs nicht. Das ist wichtig, besteht doch einer der Vorteile der SBFSEM-Methode darin, dass die Aufnahmen im Bilderstapel sehr gut überlappen – wodurch sich die neuronalen Fortsätze besser verfolgen lassen.

Ungenauigkeiten bei der Überlappung sowie Verzerrungen des Schnitts sind die Hauptprobleme der konventionellen Serienschneid-Elektronenmikroskopie. Aufnahmen von großen Gewebereichen waren deshalb bisher praktisch unmöglich. Mit ihrer SBFSEM-Methode nehmen die Max-Planck-Forscher problemlos Stapel mit 2000 Bildern auf. Denk und Horstmann erwarten, dass neue Färbetechniken und automatische Bilderkennungsverfahren es in Zukunft ermöglichen, Nervenfortsätze in SBFSEM-Bilderstapeln in großem Stil zu verfolgen und damit detaillierte Pläne neuronaler Schaltungen zu erzeugen. ●

● Weitere Informationen erhalten Sie von: PROF. DR. WINFRIED DENK Max-Planck-Institut für medizinische Forschung, Heidelberg Tel.: 06221 486-335 Fax: 06221 486-325 E-Mail: denk@mpimf-heidelberg.mpg.de

Panorama

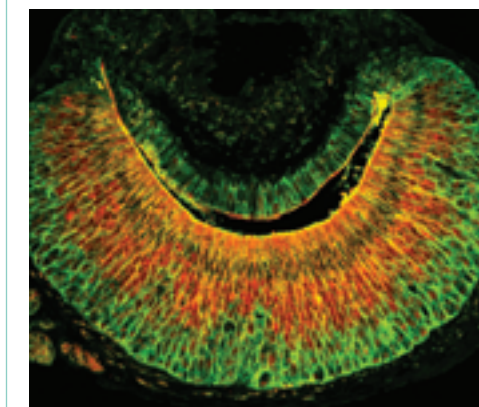
Als **Schlüssellocher** zum genetischen Archiv wirken die Poren in der Hülle des Zellkerns höherer Organismen: Über sie gelangen Abschriften der Erbinformationen – also Baupläne für Eiweiß-Moleküle – aus dem Zellkern in den umgebenden Zellraum und dienen dort als Vorlagen für die Produktion der entsprechenden Proteine. Umgekehrt laufen über diese Poren auch Signale aus dem Zellkörper in den Kern, um von dort jeweils benötigte „Unterlagen“ für die Lebensmaschinerie der Zelle abzurufen. Am Max-Planck-Institut für Biochemie in Martinsried ist es jetzt erstmals gelungen, die dreidimensionale Struktur von Kernporen an völlig intakten Zellen des Schleimpilzes *Dictyostelium* darzustellen. Ermöglicht wurde das durch eine besondere, am Martinsrieder Institut entwickelte Technik, die so genannte Kryo-Elektronentomografie. Mit ihrer Hilfe wurden rund 250 verschiedene Kernporen des Schleimpilzes in ihrem dreidimensionalen Bau analysiert. Jede dieser Poren arbeitet hoch spezifisch, lässt also jeweils nur ein bestimmtes Protein durch die Kernmembran passieren. Dennoch gleichen sie sich in ihrer grundsätzlichen Architektur: Sie bestehen aus etwa 30 Proteinbausteinen, die einen runden Kanal in der Kernmembran umgeben; im Innern des Kerns bilden diese Proteine eine Art Korb, zum Zellraum hin fädige Fortsätze. Die zentrale Öffnung der Poren weist einen Durchmesser von 60 millionstel Millimetern auf. In weiteren Studien mit definierten Transportmolekülen wollen die Forscher jetzt die genaue Funktion der Kernporen aufdecken.

Als **Scheinwerfer** energiereicher Gammastrahlung haben Astronomen den Überrest einer Supernova im Sternbild Skorpion ausgemacht – eine Explosionswolke, die am Himmel unter dem doppelten Durchmesser des Vollmonds erscheint. Aus der Randregion dieser Wolke entspringt Gamma-Strahlung mit einer Energie im Bereich von Billionen Elektronenvolt, wie ein internationales Team – darunter Forscher des Heidelberger Max-Planck-Instituts für Kernphysik – gefunden hat. Daraus lässt sich schließen, dass innerhalb dieser Gammaquelle nicht nur Elektronen, sondern auch schwerere geladene Teilchen auf Energien von mehr als 100 Billionen Elektronenvolt beschleunigt werden – ein Befund, der für die Frage nach dem Ursprung der Kosmischen Strahlung bedeutsam ist, also des Stroms hoch energetischer Teilchen, der beständig aus dem Weltraum auf die Erde eindringt. Geortet wurde der „kosmische Teilchenbeschleuniger“ mit dem 2003 in Betrieb genommenen Gammastrahlen-Observatorium H.E.S.S. in Namibia.

Einzelne maßgefertigte Photonen liefert eine laserähnliche Lichtquelle, die am Garching Max-Planck-Institut für Quantenoptik entwickelt wurde. Das Herzstück dieser Lichtquelle bildet ein iso-

liertes Kalzium-Ion, das mit einer örtlichen Genauigkeit von nur wenigen millionstel Millimetern in einer Ionenfalle zwischen zwei Spiegeln festgehalten wird, die einen so genannten Resonator bilden. Dieses Kalzium-Ion kann von außen durch Laser-Pulse „gepumpt“ und dadurch zur Emission einzelner Photonen angeregt werden – wobei sich über den anregenden Laser-Puls der Zeitpunkt der Emission sowie die spektralen Eigenschaften dieser Photonen gezielt festlegen lassen. Zu dieser kontrollierten Emission einzelner Photonen kommt noch die lange Betriebsdauer der Lichtquelle: Sie liegt bei mehreren Stunden, und zwar entsprechend der Speicherzeit der einzelnen Kalzium-Ionen innerhalb der Falle. Mit diesem Ein-Ion/Ein-Photon-Laser ist ein grundlegender Schritt hin zur Quanten-Informationsverarbeitung gelungen – deren zentrales Problem darin liegt, gezielt und kontrolliert an der „quantenphysikalischen“ Schnittstelle zwischen Atomen und Photonen eingreifen zu können.

Mäuse erschnuppern den Immun-Steckbrief ihrer Artgenossen – und erkennen daran jedes Individuum, dessen Geschlecht und sozialen Status. Zu diesem Befund kam ein internationales Team, darunter Wissenschaftler des Freiburger Max-Planck-Instituts für Immunbiologie. Ausgangs-



punkt war die Tatsache, dass Mäuse und zahlreiche andere Tiere einander über den Geruch erkennen und auch ihre Partnerwahl über die Nase treffen – oder genauer: über das so genannte Vomeronasalorgan in der Nasenscheidewand. Unbekannt war allerdings, welche Duftstoffe diese Signale vermitteln. Wie sich jetzt zeigte, spricht das Vomeronasalorgan auf kleine Eiweißmoleküle – Peptide – an, die normalerweise mit Zellen des Immunsystems zusammenarbeiten und in ihren Strukturen jeweils hoch spezifisch die immungenetische Identität eines Individuums widerspiegeln. Damit fungieren diese Peptide als Signalträger sowohl im Immunsystem als auch im Nervensystem: eine Doppelrolle, deren Ursprung und tieferen Sinn weitere Untersuchungen aufdecken sollen. ●

Schnitt durch das Vomeronasalorgan, einer winzigen Struktur in der Nase der Maus. Die beiden Zonen mit sensorischen Nervenzellen sind rot und grün angefärbt. In der basalen (grünen) Schicht befinden sich die Zellkörper der durch Peptide erregbaren Neuronen.

www Mehr zu diesen Themen finden Sie unter www.maxplanck.de

FOTO: MPI FÜR MEDIZINISCHE FORSCHUNG

FOTO: UNIVERSITY OF MARYLAND SCHOOL OF MEDICINE

IHRE MEINUNG IST GEFRAGT

Zugegeben, es war von der Redaktion nicht ganz so geplant – hat sich aber wunderbar gefügt. Doch der Reihe nach. Mit dem neuen Jahr wollen wir auch eine neue Rubrik einführen: Darin sollen Sie zu Wort kommen! Das klappt natürlich nur bei engagierten Leserinnen und Lesern. In dieser Hinsicht können wir beruhigt sein, denn in Heft 3/2004 haben wir Sie gleich an zwei Stellen erfolgreich (wenn auch unfreiwillig) auf die Probe gestellt. So hieß es in einem Teil unserer Auflage auf Seite 25, der menschliche Körper besitze drei Milliarden Zellen; in Wirklichkeit sind es etwa 100 Billionen. Und im Bildtext auf Seite 22 ist vom „Wettlauf der Spermien hin zum befruchteten Ei“ die Rede; wir wollen die Biologie nicht auf den Kopf stellen, „befruchteten“ also bitte streichen. Die zahlreichen Reaktionen zeigen, dass unsere Leserinnen und Leser mitdenken. Dafür danken wir und hoffen auch in Zukunft auf lebhaftes Echo – nicht nur bei Fehlern, die uns im Übrigen genauso ärgern wie Sie.

Ihre Zuschriften unter dem Stichwort „Leserbriefe“ erreichen uns

- ▶ via E-Mail: mpf@gv.mpg.de
- ▶ per Fax: 089 2108-1405
- ▶ oder auf dem Postweg: MAXPLANCKFORSCHUNG, Hofgartenstraße 8, 80539 München